

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-082238

(43)Date of publication of application : 22.03.2002

(51)Int.Cl.

G02B 6/12

G02B 6/293

(21)Application number : 2000-268982

(71)Applicant : SUMITOMO ELECTRIC IND LTD

(22)Date of filing : 05.09.2000

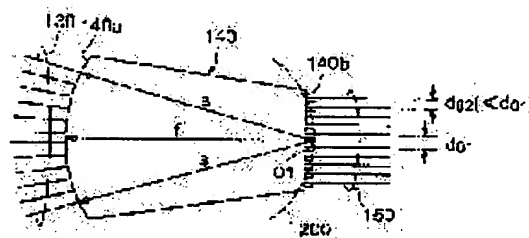
(72)Inventor : KATAYAMA MAKOTO

(54) OPTICAL MULTIPLEXER/DEMULTIPLEXER

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide an optical multiplexer/demultiplexer having structure by which distortion caused by an aberration of a wavelength characteristic or the like between signal channels is positively compensated and also loss dispersion or the like is effectively reduced.

SOLUTION: In the optical multiplexer/demultiplexer, respective light input ends of output waveguides (150) which are arrayed in accordance with respective signals having a channel wavelength set every prescribed wavelength interval are arrayed so that at least any light input end of these output waveguides (150) is positioned within the Rowland circle (200). Thus, loss dispersion between the signal channels or the like is effectively reduced.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

21.09.2000

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号
特開2002-82238
(P2002-82238A)

(43) 公開日 平成14年3月22日 (2002.3.22)

(51) Int.Cl.⁷

G 0 2 B 6/12
6/293

識別記号

F I

G 0 2 B 6/12
6/28

フィート* (参考)

F 2 H 0 4 7
D

審査請求 有 請求項の数 9 O L (全 10 頁)

(21) 出願番号 特願2000-268982 (P2000-268982)

(22) 出願日 平成12年9月5日 (2000.9.5)

(71) 出願人 000002130

住友電気工業株式会社

大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号

(72) 発明者 片山 誠

神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電

気工業株式会社横浜製作所内

(74) 代理人 100088155

弁理士 長谷川 芳樹 (外3名)

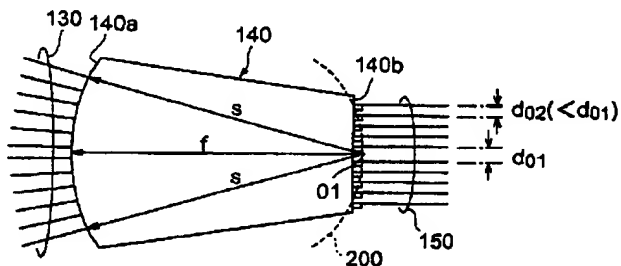
Fターム(参考) 2H047 KA11 LA18 TA31

(54) 【発明の名称】 光合分波器

(57) 【要約】

【課題】 信号チャネル間における波長特性の収差等による歪みを積極的に補償するとともに、損失バラツキ等を効果的に低減する構造を備えた光合分波器を提供する。

【解決手段】 当該光合分波器において、所定波長間隔ごとに設定されたチャネル波長を有する信号それぞれに対応して配列された出力導波路(150)の各光入力端は、これら出力導波路(150)のうち少なくともいずれかの光入力端がローランド円(200)内に位置するように配列されている。この構成により、信号チャネル間における損失バラツキ等が効果的に低減される。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 基板と、

前記基板上に設けられた、それぞれ所定のスラブ長を有する第 1 及び第 2 スラブ導波路と、

前記基板上に設けられた導波路であって、前記第 1 スラブ導波路の光入力端面にその光出力端が接続された 1 又はそれ以上の入力導波路と、

前記第 2 スラブ導波路の光出力端面にそれぞれの光入力端が接続された状態で前記基板上に平面的に配列された導波路であって、信号チャンネルとして所定波長間隔ごとに設定されたチャンネル波長を有する信号それぞれに対応して設けられた複数の出力導波路と、

前記入力導波路とともに前記第 1 スラブ導波路を挟むように該第 1 スラブ導波路の光出力端面にそれぞれの光入力端が接続される一方、前記出力導波路とともに前記第 2 スラブ導波路を挟むように該第 2 スラブ導波路のレンズ面として機能する光入力端面にそれぞれの光出力端が接続された状態で前記基板上に平面的に配列された導波路であって、互いに長さの異なる複数のチャンネル導波路とを備え、

前記出力導波路のうち少なくともいずれかの光入力端は、前記第 2 スラブ導波路の光入力端面の焦点距離よりも短い距離だけ該第 2 スラブ導波路の光入力端面から離れた位置に配置されている光合分波器。

【請求項 2】 前記出力導波路のうち最も外側に位置する 2 つの出力導波路の各光入力端は、前記第 2 スラブ導波路の光入力端面の焦点距離を直径とするローランド円の円周上に配置される一方、前記出力導波路のうち前記 2 つの出力導波路を除いた残りの出力導波路の各光入力端は、前記ローランド円内であって前記 2 つの出力導波路の各光入力端を結んだ線上に配置されていることを特徴とする請求項 1 記載の光合分波器。

【請求項 3】 前記出力導波路のうち少なくとも 2 つの出力導波路の各光入力端は、前記第 2 スラブ導波路の光入力端面の焦点距離を直径とするローランド円の円周と前記第 2 スラブ導波路の光出力端面とが交差する位置に

$$n \leq N/2 \text{ の場合 : } Ln = 2r \cdot \sin \frac{\varphi}{2} \cdot \cos \left\{ \left(\frac{N}{2} - n \right) \cdot \varphi \right\}$$

$$n \leq N/2 \text{ 以外の場合 : } Ln = 2r \cdot \sin \frac{\varphi}{2} \cdot \cos \left\{ \left(n - 1 - \frac{N}{2} \right) \cdot \varphi \right\}$$

なる式で与えられることを特徴とする請求項 5 記載の光合分波器。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】この発明は、波長分割多重 (WDM: Wavelength Division Multiplexing) 伝送システムに波長選択素子として適用可能なアレイ導波路回折格子 (AWG: Arrayed Waveguide Grating) 型の光

配置されていることを特徴とする請求項 1 記載の光合分波器。

【請求項 4】 前記出力導波路それぞれの光入力端を含む先端部分は、前記ローランド円の円周上に配置された前記 2 つの出力導波路の各光入力端を結んだ前記線の法線方向に沿って伸びていることを特徴とする請求項 2 記載の光合分波器。

【請求項 5】 前記出力導波路の各光入力端は、前記ローランド円の円周上に配置された前記 2 つの出力導波路の各光入力端を結んだ該ローランド円の弦上に配置されていることを特徴とする請求項 2 ～ 4 項のいずれか一項記載の光合分波器。

【請求項 6】 前記出力導波路の各光入力端は、不等間隔で前記弦上に配列されていることを特徴とする請求項 5 記載の光合分波器。

【請求項 7】 前記出力導波路の各光入力端は、前記弦の中央から該弦の両端に向かって互いに隣接する光入力端間の間隔が小さくなるよう配置されていることを特徴とする請求項 6 記載の光合分波器。

【請求項 8】 前記出力導波路の各光入力端は、前記弦の法線のうち、前記ローランド円の円周上あるいは前記チャンネル導波路の光出力端から出射された光線束が集光する位置を示す焦点円の円周上に等間隔に集光する前記チャンネル波長の各光線束の集光位置を通る法線と、該弦との交点上にそれぞれ配置されていることを特徴とする請求項 6 記載の光合分波器。

【請求項 9】 前記出力導波路の本数を N 、前記ローランド円あるいは前記チャンネル導波路の光出力端から出射された光線束が集光する位置を示す焦点円の半径を r 、該ローランド円あるいは該焦点円の円周上に等間隔に集光する前記チャンネル波長の各光線束の集光位置間隔に対応する中心角を φ とするとき、前記基板上に平面的に配列された前記出力導波路のうち第 n 番目の出力導波路の光入力端と第 $(n+1)$ 番目の出力導波路の光入力端との間隔 L_n は、

【数 1】

$$n \leq N/2 \text{ の場合 : } Ln = 2r \cdot \sin \frac{\varphi}{2} \cdot \cos \left\{ \left(\frac{N}{2} - n \right) \cdot \varphi \right\}$$

$$n \leq N/2 \text{ 以外の場合 : } Ln = 2r \cdot \sin \frac{\varphi}{2} \cdot \cos \left\{ \left(n - 1 - \frac{N}{2} \right) \cdot \varphi \right\}$$

合分波器に関するものである。

【0002】

【従来の技術】AWG型の光合分波器（以下、AWG回路という）は、干渉による特定波長の取り出しあるいは挿入を可能にする波長フィルタとしてWDM伝送システムにおける波長選択素子に広く利用されている。また、AWG回路は、回折格子ほどの精密な機械加工や、干渉膜ほどの精密な多層膜形成が不要で、リソグラフィやエ

ッティングなどの一般的な微細加工プロセスで実現できることから、他の光導波路素子との集積の可能性とも併せて今後のWDM伝送システムの中心的な光学部品としてその発展が期待されている。

【0003】このようなAWG回路は、単一基板上に、入力導波路、入力用スラブ導波路、それぞれ長さの異なるチャンネル導波路（フェーズドアレイ）、出力用スラブ導波路、出力導波路が一体的に作り込まれた構造を備える。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】図6は、従来のAWG回路（光合分波器）における光出力部分の導波路構成を示す平面図である。このAWG回路において、出力用スラブ導波路20における一方の接続面にはそれぞれ長さの異なる複数のチャンネル導波路10の一端が間隔dごとに接続されている。また、該出力スラブ導波路20における他方の接続面には各チャンネル波長の光に対応して、すなわち信号チャンネルごとに設けられた出力導波路30の一端が接続されている。

【0005】一般に、複数のチャンネル導波路の一端が接続される出力スラブ導波路20の接続面は凸レンズの働きをするよう設計されており、各チャンネル導波路の一端は、中心チャンネル波長の光が集光する位置O1を中心とした半径s（スラブ長）の円周上に配置されている。一方、出力用スラブ導波路の他方の接続面に接続される各出力導波路の一端は、このスラブ長を直径とするローランド円200の円周上に配置される（日本国特許第2599786号、培風館発行「応用光学I」1990年7月20日初版、参照）。

【0006】しかしながら、中心チャンネル波長の信号については、確かに点O1に集光するが、ローランド円上の点O1以外の点に集光すべき他のチャンネル波長の信号については収差等の影響により集光効率の低下や波長特性の歪みが生じてしまう可能性があった。すなわち、従来のAWG回路における各出力導波路（以下、出力CHという）ごとの損失スペクトルは、図7に示されたように、各チャンネル波長間で4dB程度の損失バラツキが生じてしまう。

【0007】図8には、図7に示された損失スペクトルのうち中心チャンネル波長に対応する出力導波路（中心付近に位置する出力CH）における損失スペクトル（スペクトル幅W1）、及び信号波長帯域の最長チャンネル波長及び最短チャンネル波長それぞれに対応した出力導波路（周辺付近に位置する出力CH）における損失スペクトル（スペクトル幅W2（>W1））が模式的に示されている。この図8からも分かるように、各出力CHにおける損失は、中心付近に位置する出力CHから離れるに従って大きくなるとともに、中心付近に位置する出力CHから離れるに従って、その損失ピークの形状が鈍って出力CHにおける損失スペクトルのスペクトル幅もW1か

らW2（>W1）へと広がってくるため（波長特性の歪み）、信号波長帯域が全体的に長波長側あるいは短波長側にシフトすると波長分離精度が著しく低下するという課題があった。

【0008】この発明は、以上のような課題を解決するためになされたものであり、信号チャンネル間における波長特性の収差等による歪みを積極的に補償するとともに、損失バラツキ等を効果的に低減することを可能にする構造を備えた光合分波器を提供することを目的としている。

【0009】

【課題を解決するための手段】この発明に係る光合分波器は、基板と、該基板上にそれぞれ設けられた、1又はそれ以上の入力導波路、第1スラブ導波路、複数のチャンネル導波路、第2スラブ導波路、及び各信号チャンネルごとに設けられた複数の出力導波路とを備え、WDM伝送システムに波長選択素子として適用可能なAWG型の光合分波器である。

【0010】この発明に係る光合分波器において、上記第1及び第2スラブ導波路は、それぞれ所定のスラブ長を有する。なお、スラブ長は、一般的に各スラブ導波路のレンズ面として機能する光入力端の焦点距離に相当する。また、上記入力導波路は、信号チャンネルとして所定波長間隔ごとに設定されたチャンネル波長を有する信号それぞれを第1スラブ導波路に導くための導波路であって、第1スラブ導波路の光入力端面にその光出力端が接続されている。上記チャンネル導波路は、互いに異なる長さを有する導波路であって、入力導波路とともに第1スラブ導波路を挟むように該第1スラブ導波路の光出力端面にそれぞれの光入力端が接続される一方、出力導波路とともに第2スラブ導波路を挟むように該第2スラブ導波路の光入力端面にそれぞれの光出力端が接続された状態で基板上に平面的に配列されている。さらに、上記出力導波路は、第2スラブ導波路の光出力端面にそれぞれの光入力端が接続された状態で基板上に平面的に配列された導波路であって、所定波長間隔ごとに設定されたチャンネル波長を有する信号それぞれを個別に取り出すための導波路である。

【0011】特に、この発明に係る光合分波器は、上記出力導波路のうち少なくともいずれかの光入力端が、第2スラブ導波路の光入力端面の焦点距離よりも短い距離だけ該第2スラブ導波路の光入力端面から離れた位置に配置されていることを特徴としている。なお、上記出力導波路のうち最も外側に位置する2つの出力導波路の各光入力端は、第2スラブ導波路の光入力端面の焦点距離を直径とするローランド円の円周上に配置される一方、上記出力導波路のうち該2つの出力導波路を除いた残りの出力導波路の各光入力端は、このローランド円内であって該2つの出力導波路の各光入力端を結んだ線上に配置されるのが好ましい。換言すれば、上記出力導波路の

5

うち少なくとも2つの出力導波路の各光入力端は、第2スラブ導波路の光入力端面の焦点距離を直径とするローランド円の円周と該第2スラブ導波路の光出力端面とが交差する位置に配置されるのが好ましい。ここで、上記出力導波路のうち最も外側に位置する2つの出力導波路の各光入力端を結ぶ線は、直線の一部（この場合、上記ローランド円の弦に相当する）であってもよく、また曲線の一部であってもよい。したがって、第2スラブ導波路の光出力端面は、平面であっても、該第2スラブ導波路の光入力端面に向かって突出した曲面であってもよい。このように、上記出力導波路のうち最も外側に位置する2つの出力導波路の光入力端をローランド円の円周上に配置することにより、当該光合分波器全体の損失を増加させることなく、各チャネル波長間における損失バラツキを低減することが可能になる。

【0012】また、この発明に係る光合分波器において、上記出力導波路それぞれの光入力端を含む先端部分は、上記ローランド円の円周上に配置された2つの出力導波路の各光入力端を結んだ線の法線方向に沿って伸びるよう配置されるのが好ましい。

【0013】上記出力導波路の各光入力端が上記ローランド円の弦上に配置される場合、これら出力導波路の各

$$n \leq N/2 \text{ の場合: } Ln = 2r \cdot \sin \frac{\varphi}{2} \cdot \cos \left\{ \left(\frac{N}{2} - n \right) \cdot \varphi \right\}$$

$$n \leq N/2 \text{ 以外の場合: } Ln = 2r \cdot \sin \frac{\varphi}{2} \cdot \cos \left\{ \left(n - 1 - \frac{N}{2} \right) \cdot \varphi \right\}$$

【0016】なる式で与えられる。

【0017】

【発明の実施の形態】以下、この発明に係る光合分波器の各実施形態を、図1～図6を参照しながら説明する。なお、各図において、同一部分には同一の番号を付して重複する説明は省略する。また、必要に応じて図7及び図8も参照する。

【0018】図1は、この発明に係る光合分波器の構成を示す平面図である。この図1に示されたように、当該光合分波器は、石英ガラス基板100上に光導波路部分が一体的に形成された光部品である。すなわち、基板100上には、1又はそれ以上の入力導波路110、第1スラブ導波路120（入力用スラブ導波路）、複数のチャネル導波路130、第2スラブ導波路140（出力用スラブ導波路）及び複数の出力導波路150が設けられている。上記各導波路部分にはGeO₂が添加されており、該GeO₂の添加量は、チャネル導波路130の曲率半径の低減を可能にするため（光の閉じ込め効率の向上）、基板100と導波路部分との比屈折率差は1%以上である。なお、基板100は、石英ガラス基板に限らず、シリコン基板と該シリコン基板上に成膜された10～数10μmのガラス層とにより構成されてもよい。こ

6

光入力端は、各チャネル波長の光の集光位置と各出力導波路における光入力端の中心を一致させるため、不等間隔に配置されるのが好ましい。具体的に、上記出力導波路の各光入力端は、上記弦の中央から該弦の両端に向かって隣接する光入力端間の間隔が小さくなるよう配置されるのが好ましい。

【0014】より具体的には、上記出力導波路の各光入力端は、上記ローランド円の弦の法線のうち、該ローランド円の円周上あるいはチャネル導波路の光出力端から出射された光線束が集光する位置を示す焦点円の円周上に等間隔に集光する上記チャネル波長の各光線束の集光位置を通る法線と、該弦との交点上にそれぞれ配置される。すなわち、出力導波路の本数をN、ローランド円あるいは焦点円の半径をr、該ローランド円あるいは該焦点円の円周上に等間隔に集光するチャネル波長の各光線束の集光位置間隔に対応する中心角をφとすると、基板上に平面的に配列された出力導波路のうち第n番目の出力導波路の光入力端と第(n+1)番目の出力導波路の光入力端との間隔Lnは、

20 【0015】

【数2】

のガラス層上にGeO₂が添加された導波路を形成しても同様の作用・効果が得られる。

30

【0019】上記第1スラブ導波路120は、当該光合分波器へ入力される光の入射角度に対して角度θをなすよう配置されており、また、第1及び第2スラブ導波路120、140は、それぞれスラブ長よりも短い全長fを有する。なお、スラブ長は、第1及び第2スラブ導波路120、140のおおのにおける光入力端面に位置する凸レンズ面の焦点距離に相当する。また、上記入力導波路110は、信号チャネルとして所定波長間隔ごとに設定されたチャネル波長を有する各信号を第1スラブ導波路120に導くための導波路であって、この入力導波路110の光出力端は第1スラブ導波路120に光入力端面に接続されている。上記チャネル導波路130は、互いに異なる長さを有する導波路であって、基板100上に平面的に配列されている。これらチャネル導波路130は、入力導波路110とともに第1スラブ導波路120を挟むように該第1スラブ導波路120の光出力端面にそれぞれの光入力端が間隔dごとに離間した状態で接続される一方、出力導波路150とともに第2スラブ導波路140を挟むように該第2スラブ導波路140の光入力端面140aにそれぞれの光出力端が間隔dごと

50

に離間した状態で接続されている。さらに、上記出力導波路 150 は、第 2 スラブ導波路 140 の光出力端面に光入力端が接続された状態で上記基板 100 上に平面的に配列された導波路であって、所定波長間隔ごとに設定されたチャネル波長を有する各信号に対応して、すなわち各信号チャネルに対応して設けられている。なお、図 1 に示された光合分波器は、入力導波路 110、第 1 スラブ導波路 120、チャネル導波路 130、第 2 スラブ導波路 140 及び出力導波路 150 の順に光が伝搬する 40 チャネルの信号分離を可能にする AWG 回路として説明されているが、各信号チャネルに対応して複数の入力導波路を設けることにより、信号合波を可能にする AWG 回路も実現できる。

【0020】(第 1 実施形態) 図 2 は、この発明に係る光号分波器の第 1 実施形態における光出力部分(図 1 における光入力部分に相当)の導波路構成を示す平面図である。この第 1 実施形態に係る光号分波器において、第 2 スラブ導波路(出力用スラブ導波路) 140 の光入力端面 140a は、点 O1 (チャネル導波路 130 の光出力端から出力される中心チャネル波長の光の集光位置)を中心として半径 s (スラブ長に一致) の円周の一部と一致している。

【0021】この発明に係る光号分波器は、上記出力導波路 150 のうち少なくともいずれかの光入力端が、第 2 スラブ導波路 140 の光入力端面 140a の焦点距離(スラブ長 s) よりも短い距離 f (第 2 スラブ導波路 140 の全長) だけ該第 2 スラブ導波路 140 の光入力端面 140a から離れた位置に配置されていることを特徴としているが、この第 1 実施形態では、上記出力導波路 150 のうち最も外側に位置する 2 つの出力導波路の各光入力端は、第 2 スラブ導波路 140 の光入力端面 140a の焦点距離 s を直径とするローランド円 200 の円周上に配置される一方、上記出力導波路 150 のうち該 2 つの出力導波路を除いた残りの出力導波路 150 の各光入力端は、このローランド円 200 内であって該 2 つの出力導波路の各光入力端を結んだ線上に配置される。換言すれば、上記出力導波路 150 のうち少なくとも 2 つの出力導波路の各光入力端は、第 2 スラブ導波路 140 の光入力端面 140a の焦点距離 s を直径とするローランド円 200 の円周と該第 2 スラブ導波路 140 の光出力端面 140b とが交差する位置に配置される。なお、上記出力導波路 150 のうち最も外側に位置する 2 つの出力導波路の各光入力端を結ぶ線は、上記ローランド円 200 の弦に相当する。このように、上記出力導波路 150 のうち少なくとも最外に位置する出力導波路の光入力端をローランド円 200 の円周上に配置することにより、当該光合分波器全体の損失を増加させることなく、各チャネル波長間における損失バラツキを低減することが可能になる。加えて、各チャネル間の損失スペクトル幅のバラツキも低減することができる。

【0022】損失スペクトル幅の低減は、出力導波路 150 をローランド円 200 の法線方向に沿って配置するのではなく、第 2 スラブ導波路 140 の長手方向と該出力導波路 150 とのなす角度を小さくすることによって実現される。例えば、図 8 に示されたように、出力導波路 150 がローランド円 200 の法線方向に配置された場合、最も外側に位置する出力導波路における損失スペクトルは、より外側に張り出した形状になってしまう。一方、出力導波路 150 (少なくとも先端部分) の配置角度を、上述のように第 2 スラブ導波路 140 の長手方向とのなす角度が小さくなるように設定すると、該出力導波路 150 へ入力される光の光強度の空間分布とチャネル導波路 130 の開口数 $N.A.$ との関係により、図 8 中に示されたような各損失スペクトルのより外側に張り出した部分 ($W2-W1$) に対応する光は、クラッドモードに結合するため出力導波路 150 へ導かれないうにすることが可能となる。

【0023】この第 1 実施形態では、上記出力導波路 150 それぞれの光入力端を含む先端部分は、設計や製造を容易にするため、上記ローランド円 200 の円周上に配置された 2 つの出力導波路の各光入力端を結んだ線の法線方向に沿って伸びるよう配置されている。

【0024】上記出力導波路 150 の各光入力端が上記ローランド円 200 の弦上に配置される場合、これら出力導波路 150 の各光入力端は、各チャネル波長の光の集光位置と各出力導波路 150 における光入力端の中心を一致させるため、不等間隔に配置されている。すなわち、上記出力導波路 150 のうち中心付近における導波路間隔 $d01$ は周辺付近における導波路間隔 $d02$ よりも大きくなるように設定されている(図 2 参照)。

【0025】具体的に、発明者は信号波長間隔 $\Delta\lambda$ が 100 GHz である、40 チャネル信号分離を可能にする AWG 回路を設計した。

【0026】設計された AWG 回路において、基板 100 と各導波路部分との比屈折率差は 1.5%、各導波路の幅は $4.3\mu\text{m}$ 、チャネル導波路 130 における最小曲率半径 r_{\min} は 2mm、基板 100 のサイズは $20\text{mm} \times 20\text{mm}$ 、基板 100 の厚みは 0.5mm、チャネル導波路 130 の端部間隔 d は $6.0\mu\text{m}$ 、チャネル導波路 130 の本数は 180、第 1 スラブ導波路 120 の設置角度 θ は 80° 、各チャネル導波路 130 間の長さの差 ΔL は $36.702\mu\text{m}$ に設定されている。

【0027】なお、第 2 スラブ導波路 140 は、図 3 に示されたように設計された。すなわち、スラブ長 s は $4800\mu\text{m}$ 、点 O2 を中心とするローランド円 200 の半径 r は $2400\mu\text{m}$ ($=4800/2$) である。出力導波路 150 の配列幅を $585\mu\text{m}$ として該出力導波路 150 のうち最も外側に位置する 2 つの出力導波路の光入力端を該ローランド円 200 の円周上に配置したとき、これら 2 つの出力導波路を除く残りの出力導波路の

各光入力端と当該第2スラブ導波路140の光入力端面140aとの距離は、該ローランド円200の半径 r よりも最大 $18\mu\text{m}$ 短くなる（このとき、第2スラブ導波路140の全長 f は $4782\mu\text{m}$ ）。また、信号チャネルの波長間隔は、該ローランド円200の円周上に等間隔に集光するよう選択されている。

【0028】上記出力導波路150の各光入力端は、上記ローランド円200の弦の法線のうち、該ローランド円200の円周上に等間隔に集光する上記チャネル波長の各光線束の集光位置を通る法線と、該弦との交点上にそれぞれ配置される。すなわち、出力導波路150の本

$$n \leq N/2 \text{ の場合: } L_n = 2r \cdot \sin \frac{\varphi}{2} \cdot \cos \left\{ \left(\frac{N}{2} - n \right) \cdot \varphi \right\}$$

$$n \leq N/2 \text{ 以外の場合: } L_n = 2r \cdot \sin \frac{\varphi}{2} \cdot \cos \left\{ \left(n - 1 - \frac{N}{2} \right) \cdot \varphi \right\}$$

【0030】以上のように設計されたAWG回路の各出力導波路における損失スペクトルが図4(a)及び図4(b)に示されている。この第1実施形態に係るAWG回路では、各信号チャネル間における損失バラツキは最大1.5dBであった。また、各信号チャネル間における最悪クロストークは25dBであった。さらに、各信号チャネルの損失20dBにおける損失スペクトル幅のバラツキは、0.89~0.93nmであり、その偏差は0.04nmであった。

【0031】これに対し、従来のAWG回路は、各信号チャネルにおける損失バラツキが最大4.0dBであり、この実施形態に係るAWG回路と比較して著しく低下している。なお、従来のAWG回路では各信号チャネル間における最悪クロストークは23dBであるが、各信号チャネル間の損失20dBにおける損失スペクトル幅のバラツキは、0.85~1.16nm(0.31nm)であり、この実施形態と比較して著しく低下している。

【0032】以上のように、この発明に係る光合分波器によれば、各出力導波路により分離される各チャネル波長の信号間の損失バラツキを、従来のAWG回路と比較しても十分に低減できるとともに、分離される各信号の損失20dBにおけるスペクトル幅のバラツキも十分に低減できる。

【0033】(第2実施形態)次に、図5は、この発明に係る光合分波器の第2実施形態における光出力部分(図1の光出力部分に相当)の導波路構成を示す平面図である。この第2実施形態は、第2スラブ導波路140における光出力端面140bの形状が上述の第1実施形態と異なっている。

【0034】すなわち、図5に示されたように、この第2実施形態に係るAWG回路において、出力導波路150のうち最も外側に位置する2つの出力導波路の光出力

数を N 、ローランド円200の半径を r 、該ローランド円200の円周上に等間隔に集光するチャネル波長の各光線束の集光位置間隔に対応する中心角を ϕ とすると、基板100上に平面的に配列された出力導波路150のうち第 n 番目の出力導波路の光入力端と第 $(n+1)$ 番目の出力導波路の光入力端との間隔 L_n は、以下の式で与えられ、例えば、中央付近に位置する第20番目の出力導波路の光出力端と第21番目の出力導波路の光出力端との間隔は $15\mu\text{m}$ に設定されている。

【0029】

【数3】

端がローランド円200の円周上に配置される。一方、これら最も外側に位置する2つの出力導波路を除く残りの出力導波路の光入力端は、ローランド円200の円周と交差し、かつ第2スラブ導波路140の光入射端面140aに向かって突出した曲線上に配置されている。

【0035】以上のように各出力導波路150の光出力端が第2スラブ導波路140の光入力端面140aに向かって突出した曲線上に配置された第2実施形態によっても第1実施形態と同様に、各出力導波路150間における損失や損失スペクトル幅のバラツキを効果的に低減できる。なお、この第2実施形態においても各出力導波路150の光出力端を含む先端部分は、各出力導波路150の光出力端が配置された曲線の法線方向に沿って伸びるのが好ましい。

【0036】

【発明の効果】以上のようにこの発明によれば、所定波長間隔ごとに設定されたチャネル波長を有する各信号のおのに対応して配列された出力導波路の各光入力端は、これら出力導波路のうち少なくともいずれかの光出力端がローランド円内に位置するよう配置されている。この構成により、出力導波路の光入力端全てがローランド円の円周上に配置された光合分波器と比較して、信号チャネル間における波長特性の収差等に起因した各歪みや各信号チャネル間における損失バラツキ等が効果的に低減されるという効果がある。

【図面の簡単な説明】

【図1】この発明に係る光合分波器の構成を示す平面図である。

【図2】この発明に係る光合分波器の第1実施形態における光出力部分の導波路構成を示す平面図である。

【図3】この発明に係る光合分波器の第1実施形態として制作されたサンプルにおける光出力部分の具体的なサイズを説明するための図である。

【図 4】この発明に係る光合分波器の第 1 実施形態として制作されたサンプルの各出力導波路における損失スペクトルである。

【図 5】この発明に係る光合分波器の第 2 実施形態における光出力部分の導波路構成を示す平面図である。

【図 6】従来の光合分波器における光出力部分の導波路構成を示す平面図である。

【図 7】従来の光合分波器における各出力導波路ごとの損失スペクトルである。

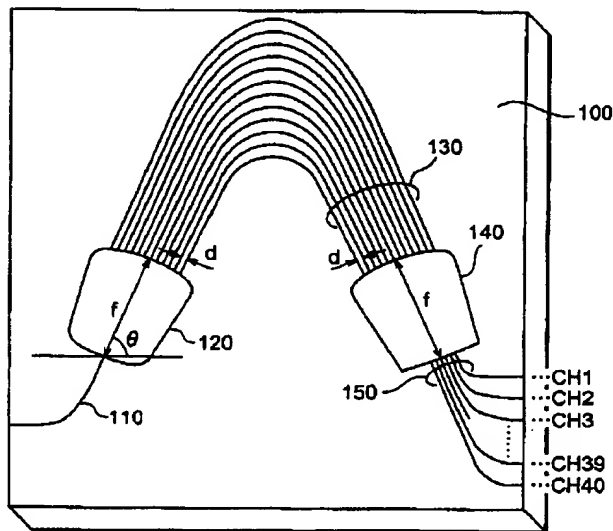
【図 8】図 7 に示された損失スペクトルを簡略化し図で 10

あり、従来の光合分波器の構造的特徴に起因して発生する課題を説明するための図である。

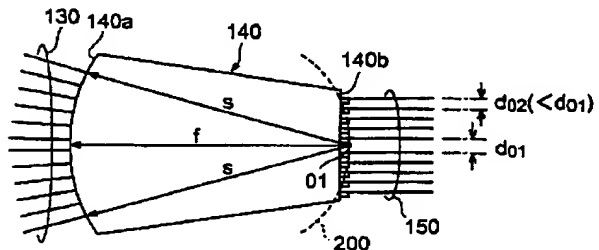
【符号の説明】

100…AWG 回路（光合分波器）、110…入力導波路、120…入力側スラブ導波路、130…チャネル導波路、140…出力側スラブ導波路、140a…出力側スラブ導波路の光入力端面、140b…出力側スラブ導波路の光出力端面、150…出力導波路、200…ローランド円。

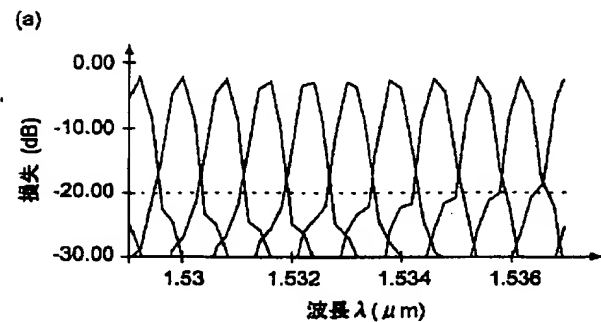
【図 1】



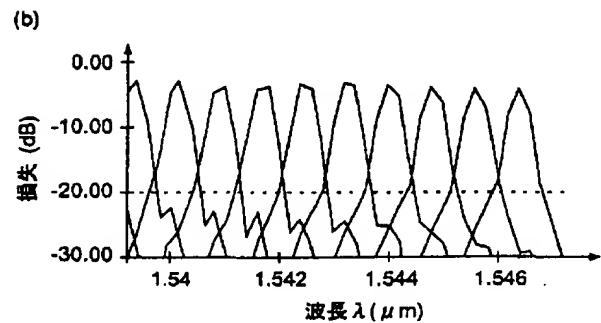
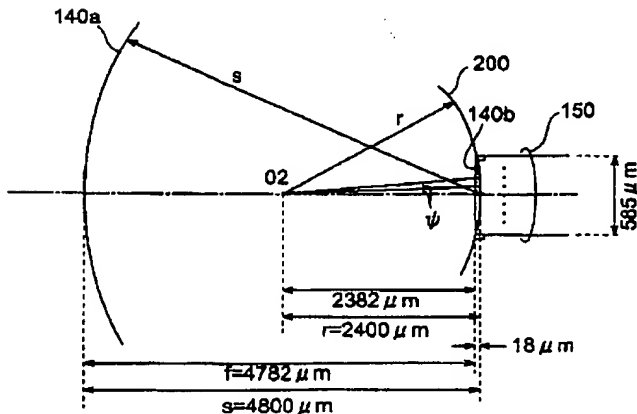
【図 2】



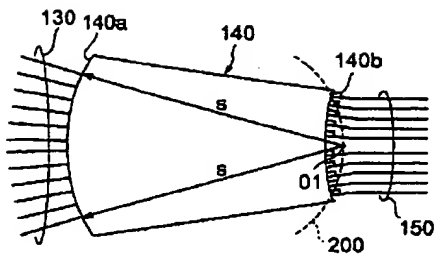
【図 4】



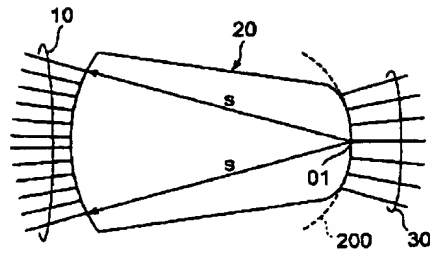
【図 3】



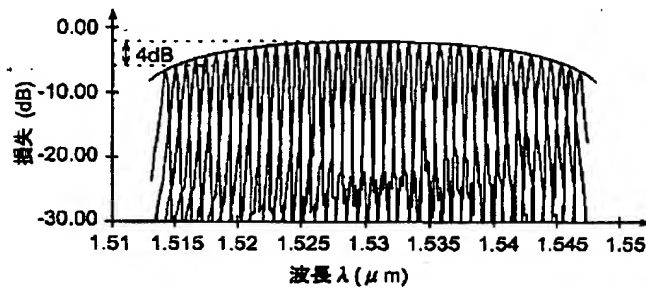
【図 5】



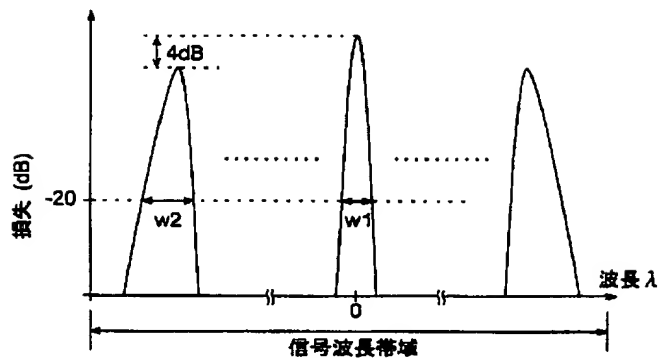
【図 6】



【図 7】



【図 8】



【手続補正書】

【提出日】平成13年3月1日(2001. 3. 1)

【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0020

【補正方法】変更

【補正内容】

【0020】(第1実施形態)図2は、この発明に係る光合分波器の第1実施形態における光出力部分(図1における光出力部分に相当)の導波路構成を示す平面図である。この第1実施形態に係る光合分波器において、第2スラブ導波路(出力用スラブ導波路)140の光入力

端面140aは、点O1(チャネル導波路130の光出力端から出力される中心チャネル波長の光の集光位置)を中心として半径s(スラブ長に一致)の円周の一部と一致している。

【手続補正2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0021

【補正方法】変更

【補正内容】

【0021】この発明に係る光合分波器は、上記出力導波路150のうち少なくともいずれかの光入力端が、第

2スラブ導波路140の光入力端面140aの焦点距離(スラブ長 s)よりも短い距離 f (第2スラブ導波路140の全長)だけ該第2スラブ導波路140の光入力端面140aから離れた位置に配置されていることを特徴としているが、この第1実施形態では、上記出力導波路150のうち最も外側に位置する2つの出力導波路の各光入力端は、第2スラブ導波路140の光入力端面140aの焦点距離 s を直径とするローランド円200の円周上に配置される一方、上記出力導波路150のうち該2つの出力導波路を除いた残りの出力導波路150の各光入力端は、このローランド円200内であって該2つの出力導波路の各光入力端を結んだ線上に配置される。換言すれば、上記出力導波路150のうち少なくとも2つの出力導波路の各光入力端は、第2スラブ導波路140の光入力端面140aの焦点距離 s を直径とするローランド円200の円周と該第2スラブ導波路140の光出力端面140bとが交差する位置に配置される。なお、上記出力導波路150のうち最も外側に位置する2つの出力導波路の各光入力端を結ぶ線は、上記ローランド円200の弦に相当する。このように、上記出力導波路150のうち少なくとも最外に位置する出力導波路の光入力端をローランド円200の円周上に配置することにより、当該光合分波器全体の損失を増加させることなく、各チャネル波長間における損失バラツキを低減することが可能になる。加えて、各チャネル間の損失スペクトル幅のバラツキも低減することができる。

【手続補正3】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0027

【補正方法】変更

【補正内容】

【0027】なお、第2スラブ導波路140は、図3に示されたように設計された。すなわち、スラブ長 s は $4800\mu\text{m}$ 、点O2を中心とするローランド円200の半径 r は $2400\mu\text{m}$ ($=4800/2$)である。出力導波路150の配列幅を $585\mu\text{m}$ として該出力導波路150のうち最も外側に位置する2つの出力導波路の光入力端を該ローランド円200の円周上に配置したとき、これら2つの出力導波路を除く残りの出力導波路の各光入力端と当該第2スラブ導波路140の光入力端面140aとの距離は、該ローランド円200の直径よりも最大 $18\mu\text{m}$ 短くなる(このとき、第2スラブ導波路140の全長 f は $4782\mu\text{m}$)。また、信号チャネルの波長間隔は、該ローランド円200の円周上に等間隔に集光するよう選択されている。

【手続補正4】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0028

【補正方法】変更

【補正内容】

【0028】上記出力導波路150の各光入力端は、上記ローランド円200の弦の法線のうち、該ローランド円200の円周上に等間隔に集光する上記チャネル波長の各光線束の集光位置を通る法線と、該弦との交点上にそれぞれ配置される。すなわち、出力導波路150の本数を N 、ローランド円200の半径を r 、該ローランド円200の円周上に等間隔に集光するチャネル波長の各光線束の集光位置間隔に対応する中心角を ϕ とすると、基板100上に平面的に配列された出力導波路150のうち第 n 番目の出力導波路の光入力端と第 $(n+1)$ 番目の出力導波路の光入力端との間隔 L_n は、以下の式で与えられ、例えば、中央付近に位置する第20番目の出力導波路の光入力端と第21番目の出力導波路の光入力端との間隔は $15\mu\text{m}$ に設定されている。

【手続補正5】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0034

【補正方法】変更

【補正内容】

【0034】すなわち、図5に示されたように、この第2実施形態に係るAWG回路において、出力導波路150のうち最も外側に位置する2つの出力導波路の光入力端がローランド円200の円周上に配置される。一方、これら最も外側に位置する2つの出力導波路を除く残りの出力導波路の光入力端は、ローランド円200の円周と交差し、かつ第2スラブ導波路140の光入射端面140aに向かって突出した曲線上に配置されている。

【手続補正6】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0035

【補正方法】変更

【補正内容】

【0035】以上のように各出力導波路150の光入力端が第2スラブ導波路140の光入力端面140aに向かって突出した曲線上に配置された第2実施形態によっても第1実施形態と同様に、各出力導波路150間における損失や損失スペクトル幅のバラツキを効果的に低減できる。なお、この第2実施形態においても各出力導波路150の光入力端を含む先端部分は、各出力導波路150の光出力端が配置された曲線の法線方向に沿って伸びるのが好ましい。

【手続補正7】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0036

【補正方法】変更

【補正内容】

【0036】

【発明の効果】以上のようにこの発明によれば、所定波長間隔ごとに設定されたチャネル波長を有する各信号のおのに対応して配列された出力導波路の各光入力端

